



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 674 965 A1**

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 94104848.0

51 Int. Cl.⁸: **B23K 26/02**

22 Anmeldetag: 28.03.94

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.10.95 Patentblatt 95/40

84 Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI NL SE

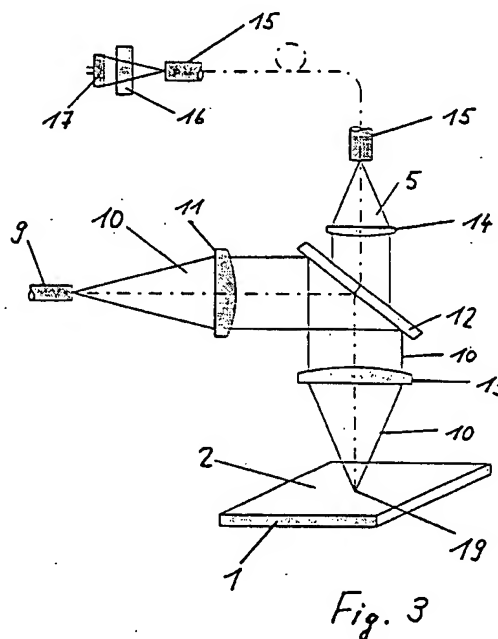
71 Anmelder: **INPRO**
INNOVATIONSGESELLSCHAFT FÜR
FORTGESCHRITTENE
PRODUKTIONSSYSTEME IN DER
FAHRZEUGINDUSTRIE MBH
Nürnberg Str. 68/69
D-10787 Berlin (DE)

72 Erfinder: **Bethke, Ulrich, Dr.**
Nürnberg Strasse 68/69
D-10787 Berlin (DE)
Erfinder: **Wahl, Roland, Dr.**
Nürnberg Strasse 68/69
D-10787 Berlin (DE)

74 Vertreter: **Hoffmann, Klaus-Dieter, Dipl.-Ing.**
Kurfürstendamm 182
D-10707 Berlin (DE)

54 Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung der Einschweisstiefe in Werkstücken beim Laserstrahlschweißen.

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung der Einschweißtiefe in Werkstücken beim Laserschweißen. Die Überwachung der Einschweißtiefe soll unabhängig von der Zugänglichkeit der dem Laserstrahl abgewandten Seite des Werkstücks ohne ein dieses zerstörendes Prüfverfahren auf sehr einfache und raumsparende Weise möglich sein. Hierzu wird während des Schweißvorgangs die vom Werkstück reflektierte Laserstrahlung fortlaufend gemessen und die Einschweißtiefe durch Erfassen des Anteils der vom Werkstück reflektierten Laserstrahlung, der bei beginnender Ausbildung eines Dampfkanals im Werkstück gleichzeitig mit einer sich sprunghaft erhöhenden Laserstrahlabsorption entsprechend sinkt, ermittelt.



EP 0 674 965 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung der Einschweißtiefe in Werkstücken beim Laserstrahlschweißen.

Für die Prozeßkontrolle des Laserschweißens werden üblicherweise die Licht- und Schallemissionen des Schweißprozesses herangezogen. Um die Signale aufzufangen, müssen in der Nähe des Schweißortes Detektoren wie z.B. Mikrofone, Fotodioden etc. installiert werden, die den Platzbedarf des Schweißkopfes erhöhen und die Zugänglichkeit zum Werkstück einschränken. Mit diesen Methoden ist die Erkennung einer der wichtigsten Prozeßkenngrößen, der erzielten Einschweißtiefe, bislang nicht möglich.

Beim herkömmlichen Verschweißen z.B. von Blechbauteilen wird für gewöhnlich so tief geschweißt, bis die Schweißnaht auf der vom Schweißkopf entfernt gelegenen Fläche des Werkstücks sichtbar ist. Ansonsten müssen zur Feststellung der Einschweißtiefe das Werkstück zerstörendes Prüfverfahren eingesetzt werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs erwähnten Art zur Verfügung zu stellen, mit dem bzw. der unabhängig von der Zugänglichkeit der dem Laserstrahl abgewandten Seite des Werkstücks ohne ein zerstörendes Prüfverfahren auf sehr einfache und raumsparende Weise die Überwachung der Einschweißtiefe im Werkstück beim Laserschweißen möglich ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die während des Schweißvorgangs vom Werkstück reflektierte Laserstrahlung fortlaufend gemessen und die Einschweißtiefe durch Erfassen des Anteils der vom Werkstück reflektierten Laserstrahlung, der bei beginnender Ausbildung eines Dampfkanals im Werkstück gleichzeitig mit einer sich sprunghaft erhöhenden Laserstrahlabsorption entsprechend sinkt, ermittelt wird.

Vorzugsweise läßt man zur Messung der vom Werkstück reflektierten Laserstrahlung diese die gleichen optischen Komponenten wie der vom Laser kommende Arbeitsstrahl passieren.

Vorteilhafterweise wird die zur Laseroptik reflektierte Laserstrahlung, die von einer Meßkreisfläche des Werkstücks kommt, deren Durchmesser gleich, größer oder kleiner als der Fokussmesser gewählt wird, integral, zeitaufgelöst gemessen wird.

Die Vorrichtung zur Überwachung der Einschweißtiefe in Werkstücken beim Laserschweißen, die eine dem Laser im Strahlengang nachgeordnete, den Laserstrahl auf ein Werkstück fokussierende Laseroptik aufweist, zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, daß die Laseroptik ein die vom Werkstück reflektierte Laserstrahlung auskoppelndes Element aufweist, dem in Richtung der ausgekoppelten, reflektierten Laserstrahlung eine diese erfassende Meßeinrichtung nachgeordnet ist.

Vorzugsweise sind das die reflektierte Laserstrahlung auskoppelnde Element der Laseroptik ein teildurchlässiger Spiegel und die Meßeinrichtung eine Fotodiode. Zwischen der Fotodiode und dem teildurchlässigen Spiegel sind in Strahlungsrichtung der ausgekoppelten, reflektierten Laserstrahlung in Reihe ein Linsenelement, ein Faserleiter und ein 1064 Filter nachgeordnet, das nur die Laserstrahlung passieren läßt.

Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt in überraschend einfacher Weise den Effekt der sprunghaft erhöhten Laserstrahlabsorption im Werkstück bei beginnender Ausbildung eines Dampfkanals ("keyhole") im Schmelzbad aus. Der Dampfkanal bildet sich bei Erreichen eines werkstoffabhängigen Schwellwertes der Laserleistungsdichte auf dem Werkstück aus. Das Vorhandensein des Dampfkanals garantiert ausgezeichnet eine zwar werkstoff- und laserstrahlparameterabhängige, jedoch reproduzierbare Mindesteinschweißtiefe.

Da die Absorption des Laserstrahls im Werkstück bei der Bildung des Dampfkanals stark ansteigt, sinkt gleichzeitig der Anteil der vom Werkstück reflektierten Laserstrahlung. Über die Messung der reflektierten Laserstrahlung ist es somit auf einfache Weise möglich, eine zuverlässige Aussage über die erzielte Einschweißtiefe zu machen, ohne ein das Werkstück zerstörendes Prüfverfahren durchführen zu müssen. Außerdem muß die dem Laserstrahl abgewandte Seite des Werkstücks nicht zugänglich sein.

Wenn die vom Werkstück reflektierte, zu messende Laserstrahlung die gleichen Komponenten wie der vom Laser kommende Arbeitsstrahl passiert, ist gewährleistet, daß eventuelle Dejustagen im Strahlengang sich gleichartig auswirken und das Meßergebnis nicht verfälschen.

In Nähe der Schweißung müssen keine zusätzlichen Detektoren installiert werden, so daß eine Erhöhung des Bauraums für den Schweißkopf nicht erforderlich ist. Die Detektoren können vielmehr an geschützter Stelle im Strahlengang oder sogar in der Strahlquelle untergebracht werden und unterliegen somit nicht der in Nähe der Schweißung gegebenen Verschmutzung. Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist folglich mit wenigen, einfachen und dementsprechend kostengünstigen Komponenten realisierbar.

Die Erfindung wird nun anhand der Zeichnungen erläutert. In diesen sind:

Fig. 1 ein Schaubild, das die Rückreflexion der Laserstrahlung von der Oberfläche eines Werkstücks zeigt,

Fig. 2 ein Schaubild, das einen in der Schmelze gebildeten Dampfkanal zeigt,

Fig. 3 ein schematischer Aufbau einer Ausführungsform der Vorrichtung zur

- Überwachung der Einschweißtiefe beim Laserstrahlschweißen,
 Fig. 4 eine Draufsicht auf eine Meßkreisfläche des Werkstücks,
 Fig. 5 eine Schnittansicht eines Dreiblechstoßes mit Sichtseite und
 Fig. 6 ein Diagramm bezogen auf ein Fallbeispiel, das zur Kontrolle definierter Schweißtiefungrenzen dient.

Aus den Fig. 1 und 2 geht das Kontrollprinzip des Verfahrens zur Überwachung der Einschweißtiefe beim Laserstrahlschweißen hervor, bei dem die von der Oberfläche 2 eines Werkstücks 1 im Bereich einer durch Nd:YAG-Laserstrahlung 3 bewirkten Schmelze 4 des Werkstücks 1 rückreflektierte Laserstrahlung 5 gemessen wird. Wie Fig. 2 verdeutlicht, bildet sich beim Schweißen in der Schmelze 4 bei Erreichen eines werkstoffabhängigen Schwellwertes der Laserleistungsdichte auf dem Werkstück ein Dampfkakanal oder eine Dampfkapillare 6, auf dessen bzw. deren Wänden 7 die Laserstrahlen 3 vielfach auftreffen, wobei eine sprunghaft erhöhte Laserstrahlabsorption in der Dampfkapillaren und damit eine entsprechend geringere Rückflexion der Laserstrahlung stattfinden. Der bei der Bildung des Dampfkanales 6 von dessen Wänden 7 reflektierte Anteil 8 der Laserstrahlung wird von einer Meßeinrichtung 17, z.B. einer Fotodiode (Fig. 3) als Detektorspannung in Volt erfaßt und garantiert eine werkstoff- und laserstrahlparameterabhängige, reproduzierbare Mindesteinschweißtiefe.

Fig. 3 zeigt den schematischen Aufbau einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung zur Überwachung der Einschweißtiefe in einem Werkstück 1 beim Schweißen mittels von einem Laser 9 erzeugten und von einer Laseroptik 11, 12, 13 auf das Werkstück 1 fokussierten YAG-Leistungsstrahls 10. Die Laseroptik weist zwei Linsenelemente 11 und 13 und einen zwischen diesen im Strahlengang angeordneten, teildurchlässigen Umlenkspiegel auf, der zugleich die vom Werkstück 1 reflektierte Laserstrahlung 8 auskoppelt. Letztere wird über ein dem teildurchlässigen Spiegel 12 nachgeordnete optische Reihenschaltung eines weiteren Linsenelementes 14, einer lichtleitenden Faser 15 und eines 1064 nm Filters 16 einer Meßeinrichtung in Form einer Fotodiode 17 zugeführt.

Wie Fig. 4 verdeutlicht, wird die von einer Meßkreisfläche 18 auf dem Werkstück 1, deren Durchmesser d_{mess} etwa dem Laserfokus 19 entspricht, reflektierte Nd:YAG - Laserstrahlung 8 von der Fotodiode 17 erfaßt und integral, zeitaufgelöst gemessen.

In dem Diagramm gemäß Fig. 6 ist die Detektorspannung in V in Bezug auf die Nahttiefe in mm als Fallbeispiel für Fokuslagen + 0,5 mm, 0 und -0,5 mm bei einem Fokusedurchmesser $d_f = 0,45$

mm sowie den Laserparametern $P = 2 \text{ kW}$ und $v = 2 \dots 10 \text{ m/min}$ beim Schweißen eines Werkstücks aus Stahl St 14 aufgetragen.

Über das Diagramm gemäß Fig. 6 ist im gegebenen Beispiel die Kontrolle definierter Schweißtiefungrenzen bzw. die Kontrolle der Signalober- und -untergrenzen der die ausgekoppelte, reflektierte Strahlung erfassenden Meßeinrichtung gegeben.

Fig. 5 zeigt im Schnitt einen Dreiblechstoß mit Sichtseite, von der aus die Schweißnaht nicht erkennbar ist, und verdeutlicht die vorteilhafte Einsatzmöglichkeit des Verfahrens unabhängig davon, ob eine optische Erfassung der Schweißnaht von der Sichtseite 2 her gegeben ist.

Liste der Bezugszeichen

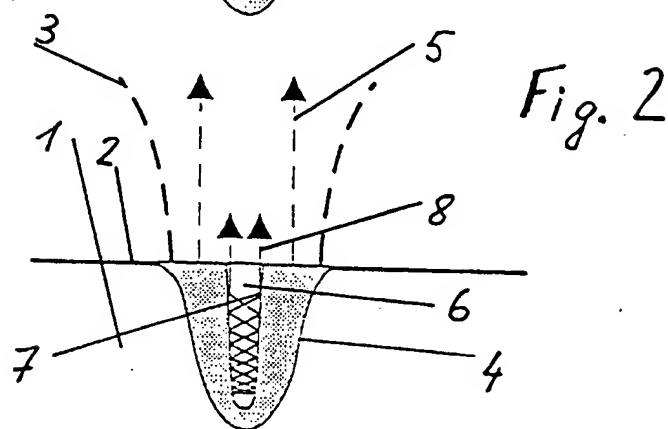
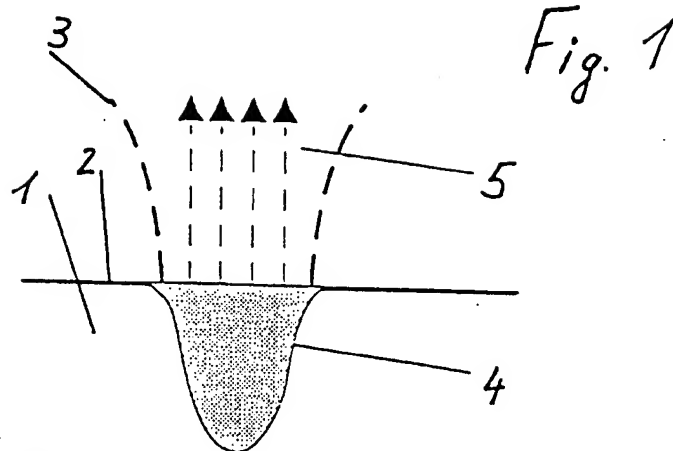
- | | |
|----|---|
| 1 | Werkstück |
| 2 | Oberfläche des Werkstücks |
| 3 | Nd:YAG-Laserstrahlung |
| 4 | Schmelze |
| 5 | reflektierte Laserstrahlung |
| 6 | Dampfkana |
| 7 | Wände des Dampfkana |
| 8 | Anteil der reflektierten Laserstrahlung |
| 9 | Laser |
| 10 | YAG-Leistungsstrahl |
| 11 | Linsenelement |
| 12 | teildurchlässiger Spiegel |
| 13 | Linsenelement |
| 14 | Linsenelement |
| 15 | Faser |
| 16 | Filter |
| 17 | Fotodiode |
| 18 | Meßkreisfläche |
| 19 | Laserstrahlfokus |
| 20 | Sichtseite |

Patentansprüche

- Verfahren zur Überwachung der Einschweißtiefe in Werkstücken beim Laserstrahlschweißen, dadurch gekennzeichnet, daß die während des Schweißvorgangs vom Werkstück reflektierte Laserstrahlung fortlaufend gemessen und die Einschweißtiefe durch Erfassen des Anteils der vom Werkstück reflektierten Laserstrahlung, der bei beginnender Ausbildung eines Dampfkanales im Werkstück gleichzeitig mit einer sich sprunghaft erhöhenden Laserstrahlabsorption entsprechend sinkt, ermittelt wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man zur Messung der vom Werkstück reflektierten Laserstrahlung diese die gleichen optischen Komponenten wie der vom Laser kommende Arbeitsstrahl passieren

läßt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die von einer Meßkreisfläche des Werkstücks, in der sich der Laserfokus befindet, zur Laseroptik reflektierte Strahlung integral, zeitaufgelöst gemessen wird. 5
4. Vorrichtung zur Überwachung der Einschweißtiefe in Werkstücken beim Laserschweißen, mit einer dem Laser im Strahlengang nachgeordneten, den Laserstrahl auf ein Werkstück fokussierenden Laseroptik, dadurch gekennzeichnet, daß die Laseroptik (11,12,13) ein die vom Werkstück (1) reflektierte Laserstrahlung (5) auskoppelndes Element (12) aufweist, dem in Richtung der ausgekoppelten, reflektierten Laserstrahlung (5) eine diese erfassende Meßeinrichtung (17) nachgeschaltet ist. 10 15 20
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das die reflektierte Laserstrahlung (5) auskoppelnde Element (12) der Laseroptik (11,12,13) ein teildurchlässiger Spiegel ist 25
6. Vorrichtung nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung (17) eine Photodiode ist. 30
7. Vorrichtung nach Anspruch 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Photodiode (17) und dem teildurchlässigen Spiegel (12) in Strahlungsrichtung der ausgekoppelten, reflektierten Laserstrahlung (5) in Reihe ein Linsenelement (14), ein Faserleiter (15) und ein Filter (16) nachgeordnet sind. 35 40
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Filter (16) ein 1064 nm Filter ist. 45 50 55



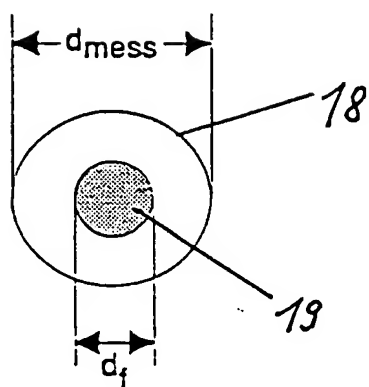
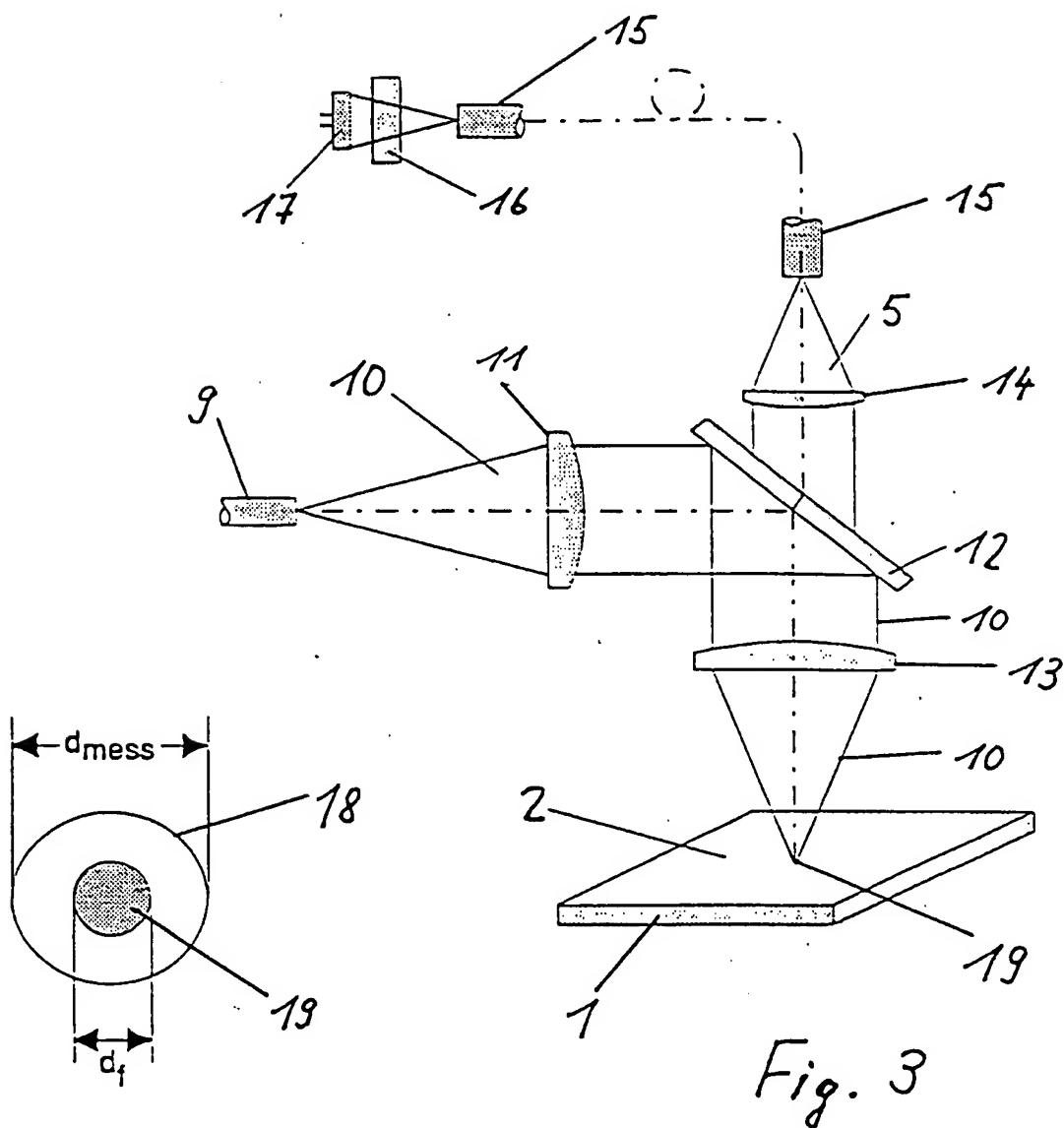


Fig. 6

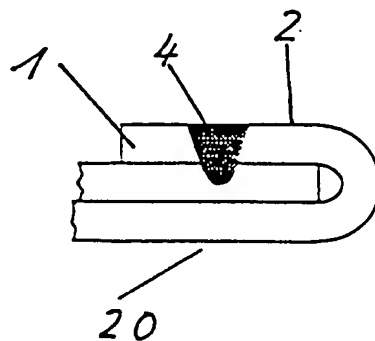
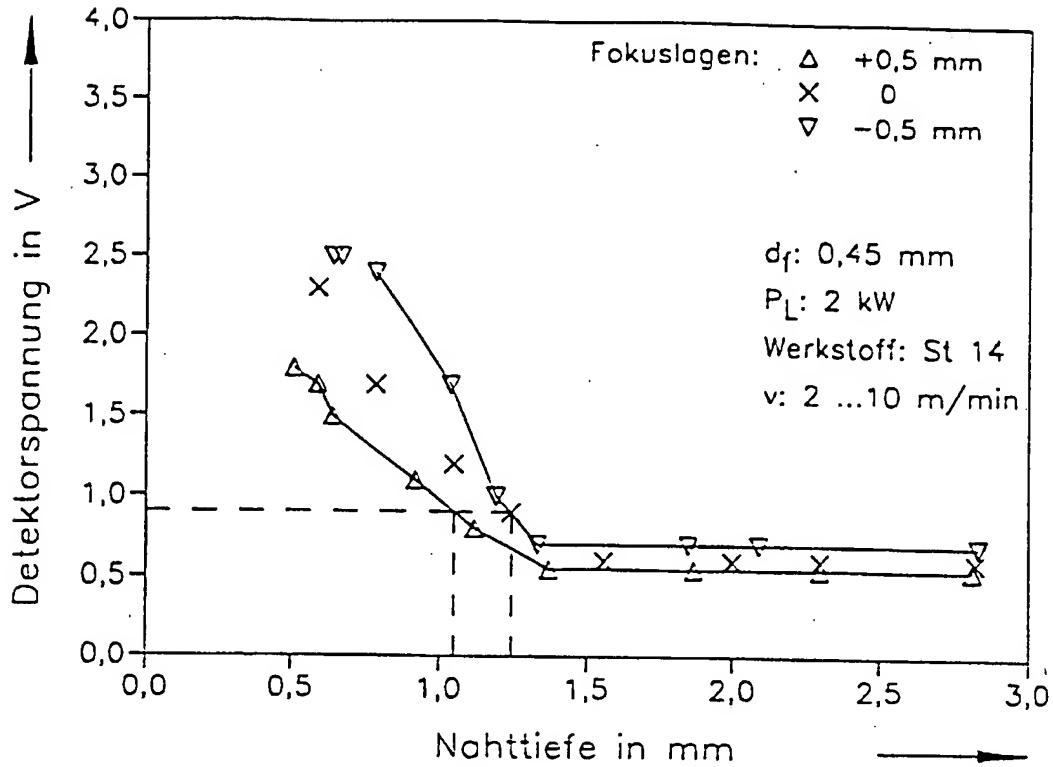


Fig. 5



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 94 10 4848

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	LASER UND OPTOELEKTRONIK., Bd.21, Nr.3, Juni 1989, STUTTGART DE Seiten 69 - 72, XP49079 M. ALAVI ET AL. 'Lichtemission während des Laserschweißprozesses'	1-3	B23K26/02
A	* Seite 71 - Seite 72 *	4,6-8	

X	WO-A-93 03881 (FOODCAN PLC)	4-8	
A	* das ganze Dokument *	1-3	
X	* Seite 6, Zeile 24 - Zeile 32 *	1	
	* Seite 8, Zeile 15 - Seite 9, Zeile 35; Abbildung 1 *		

X	WO-A-92 14578 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.)	1-5	
A	* Seite 6, Zeile 24 - Zeile 32 *		
	* Seite 8, Zeile 15 - Seite 9, Zeile 35; Abbildung 1 *		

X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 9, no. 84 (M-371) (1807) 13. April 1985 & JP-A-59 212 184 (HITACHI SEISAKUSHO K.K.) 1. Dezember 1984 * Zusammenfassung *	1-5	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6) B23K

X	US-A-4 817 020 (GENERAL ELECTRIC COMPANY)	4,5	
A	* das ganze Dokument *	1,6-8	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenamt DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 7. Juni 1994	Prüfer Aran, D
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument I : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1501 (04/92) (P.O.C.B.)